

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## **VÝROBA SOUČÁSTI PLOŠNÝM TVÁŘENÍM**

PRODUCTION SINGLE PARTS FROM SHEET METAL

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**LUBOŠ ZÍKA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. LADISLAV ŽÁK, Ph.D.**

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/2010

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Luboš Zíka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Výroba součásti plošným tvářením**

v anglickém jazyce:

### **Production single parts from sheet metal**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

z variantních návrhů technologií vybrat a navrhnout technologický postup výroby zadané součásti

Cíle bakalářské práce:

1. Zhodnocení technologičnosti výroby součásti.
2. Literární studie dané problematiky
3. Návrh technologie výroby součásti
4. Konstrukční řešení tvářecího nástroje
5. Ekonomické hodnocení

Seznam odborné literatury:

FREMUNT, Přemysl, PODRÁBSKÝ, Tomáš. Konstrukční oceli. Brno : CERM, 1966. 267 s. ISBN 80-85867-95-8 .

KOTOUČ, Jiří, et al. Tvářecí nástroje. ČVUT. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1993. 350 s. ISBN 80-01-01003-1.

KŘÍŽ, Václav, VÁVRA, Pavel. Strojírenská příručka. 1. vyd. Praha : Scientia, 1998. 255. ISBN 80-7183-054-2 (váz.)

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design . New York : Industrial Press,, 2004. 219 s. ISBN 0-8311-3182-9.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 10.11.2009

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá problematikou výroby součásti plošným tvářením, konkrétně tažením plechu. Cílem práce je teoretický rozbor technologie tažení plechu. Na základě provedených výpočtů je navržen polotovar a technologický postup výroby konkrétní součásti. Výsledkem práce je výkresová dokumentace tažného nástroje.

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with problematics of production of components by sheet metal forming. The contents of the work is a theoretical analysis of drawing technology. On the basis of calculation, a blank and technological plan of a concrete component production is designed. The output of the work is a drawing tool documentation.

### **Bibliografická citace**

ZÍKA, L. *Výroba součástí plošným tvářením*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

## Čestné prohlášení

Tímto prohlašuji, že bakalářskou práci na téma výroba součástí plošným tvářením jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a zdrojů, pod odborným vedením vedoucího práce.

V Brně dne 25. května 2010

.....  
Podpis

## **Poděkování**

Tímto chci poděkovat mé přítelkyni Bc. Evě Škrampalové za podporu během celého studia.

Dále děkuji panu Ing. Ladislavovi Žákovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky týkající se vypracování bakalářské práce.

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	10
<b>2 Technologičnost součástí</b>	10
2.1 Materiál krytu	10
<b>3 Teorie tváření</b>	11
3.1 Podstata tváření	11
3.2 Rozdělení tváření	11
3.3 Plastická deformace	11
3.3.1 Mechanismus plastické deformace	12
3.4 Tváření za studena	12
3.5 Deformační odpor materiálu	13
3.6 Tvařitelnost materiálu	13
<b>4 Tažení plechu</b>	14
4.1 Ocelové materiály pro tažení	14
4.2 Zkoušky tvařitelnosti	15
4.2.1 Tahová zkouška	15
4.3 Plošná anizotropie	16
4.4 Součinitel plastické anizotropie	16
4.5 Cípatost výtažků	17
4.6 Technologické zkoušky hlubokotažnosti materiálu	18
4.6.1 Erichsenova zkouška	18
<b>5 Technologie tažení</b>	19
5.1 Kriterium použití přidržovače	19
5.2 Přesnost výtažků	19
5.3 Tažná síla	20
5.4 Tažná mezera	21
5.5 Tažení se ztenčením stěny	21
5.6 Určení velikosti výchozího polotovaru	22
5.6.1 Výpočet polotovaru pro složité tvary	22
5.7 Určení počtu tažných operací	22
5.8 Tažení kuželových výtažků	23
5.9 Mazání při tažení	23
5.10 Vady výtažků	24
5.11 Stroje pro tažení	24
<b>6 Konstrukce tažných nástrojů</b>	25
6.1 Tažník	25
6.2 Tažnice	25
6.3 Přidržovač	26
6.4 Geometrie funkčních ploch nástroje	26
6.4.1 Poloměr zaoblení tažnice	26
6.4.2 Poloměr zaoblení tažníku	27
<b>7 Návrh technologie výroby</b>	27
7.1 Určení velikosti výchozího polotovaru	27
7.2 Výpočet střížné síly	31



7.3 Stříhání přístřihu.....	31
7.4 Určení počtu tažných operací.....	32
7.5 Použití přidržovače.....	32
7.6 Kontrolní výpočet tažné síly pro návrh jmenovité síly lisu.....	32
7.7 Návrh stroje.....	33
7.8 Technologický postup.....	33
<b>8 Ekonomické hodnocení.....</b>	<b>33</b>
8.1 Variabilní náklady.....	33
8.2 Fixní náklady.....	34
8.3 Celkové náklady.....	35
<b>9 Závěr.....</b>	<b>36</b>
<b>Seznam použitých symbolů a zkratek.....</b>	<b>37</b>
<b>Použitá literatura.....</b>	<b>39</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>40</b>

## 1 Úvod

Plošné tváření patří mezi základní operace strojírenské výroby a lze jej rozdělit na další operace jako je stříhání, ohýbání, tažení či tvarování. Tvářením lze vyrobit součásti jinou technologií téměř nevyrobitelné a zároveň součásti velmi přesné. Plošným tvářením se vyrábí lehké, ale přitom tuhé části nejrůznějších konstrukcí. Výtažky mají velmi dobrou rozměrovou přesnost i jakost povrchu a lze je v mnoha případech použít rovnou pro povrchovou úpravu či montáž. Nástroje pro tváření bývají ekonomicky nákladné a jejich hospodárná aplikace má význam až u sériové nebo hromadné výroby, kde je pořizovací cena nástroje vykompenzována relativně velkou produktivitou výroby a nízkými provozními náklady. Životnost tažných nástrojů je velmi vysoká, což se pozitivně promítá do ceny výrobku. Velkou výhodou tváření je jeho hospodárnost díky podstatné úspoře materiálu, velké produktivitě práce a úspoře energie ve srovnání například s obráběním. Pokud není po tažení zařazeno ostříhávání, nevzniká žádný odpad. Tažením plechu se vyrábějí jak miniaturní součástky pro elektrotechniku tak také rozměrné díly, jako jsou například části karosérie automobilu.

## 2 Technologičnost součásti

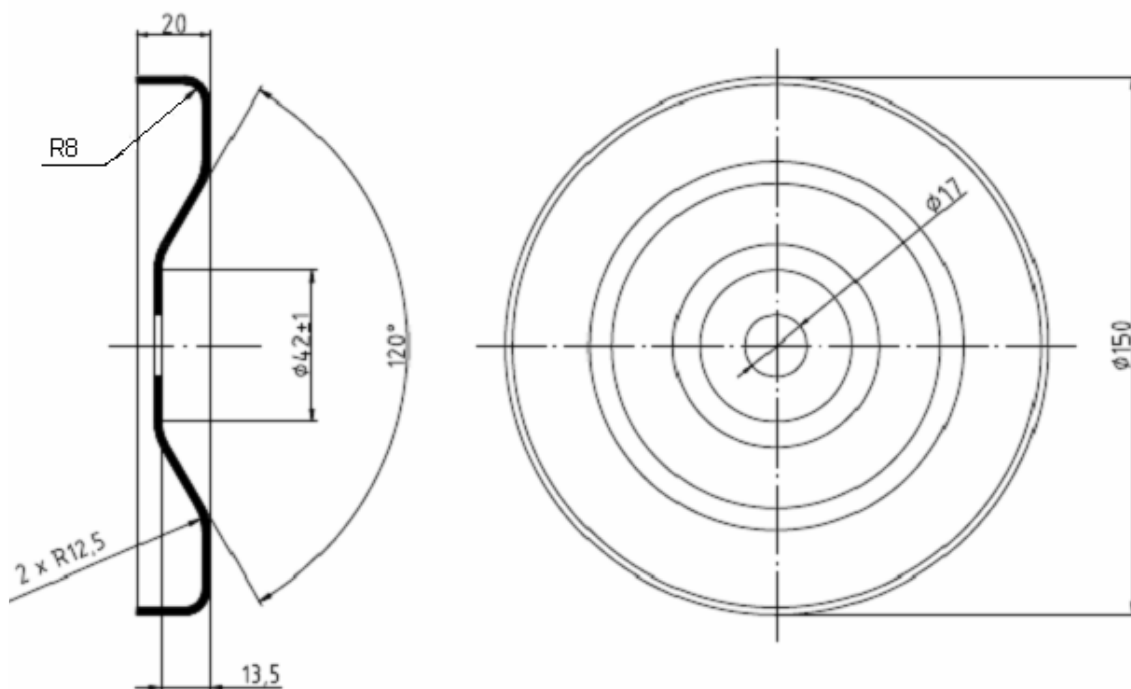
Výrobek je konstruován jako kryt a nejsou na něho kladeny žádné zvláštní požadavky na geometrickou ani rozměrovou přesnost. Kryt bude přimontován pomocí šroubu s podložkou, který prochází otvorem uprostřed součásti. Na otvor tedy také nejsou kladeny zvláštní požadavky na geometrickou přesnost a jakost povrchu stěn otvoru, ale musí být zajištěna montovatelnost součásti, což je v podstatě pouze průchodnost šroubu otvorem. Zaoblení v místech přechodu stěny do dna a dna do kuželové části nemají funkční význam. Vnitřní poloměr zaoblení je R8, což opovídá doporučeným hodnotám zaoblení tažníku v závislosti na poměru tloušťky plechu k průměru přístřihu. Hrana výtažku není funkční plochou. Předpokládaná velikost roční výrobní série je 15 000 ks, proto je vhodné uvažovat o výrobě tažného nástroje.

### 2.1 Materiál krytu

Dle výkresu je jako materiál navržen plech z materiálu DD 11 - EN 10111 o tloušťce 2 mm. Tato ocel je dle normy EN 10111 uklidněná pouze dle uvážení výrobce a doporučuje se tedy, aby byla tvářena do 6 týdnů od doby výroby plechu. Ekvivalentem tohoto materiálu je ocel 11 320. Tento materiál je vhodný pro tažení.

Chemické složení				Mechanické vlastnosti		
Uhlík [%]	Mangan [%]	Fosfor [%]	Síra [%]	Re <sub>L</sub> [Mpa]	Rm [Mpa]	A [%]
max. 0,12	max. 0,6	max. 0,045	max. 0,045	170÷340	max 440	24

Tab. 1 Vlastnosti oceli DD 11 [11]



Obr.1 Výkres součásti

### 3 Teorie tváření

#### 3.1 Podstata tváření

Podstatou tváření kovů je vznik plastických deformací v materiálu, za jejichž pomoci se mění tvar i rozměry tvářeného tělesa. Záměrem technologie tváření je nejen získání požadovaného tvaru součásti, ale většinou také zlepšení mechanických vlastností výchozího materiálu.

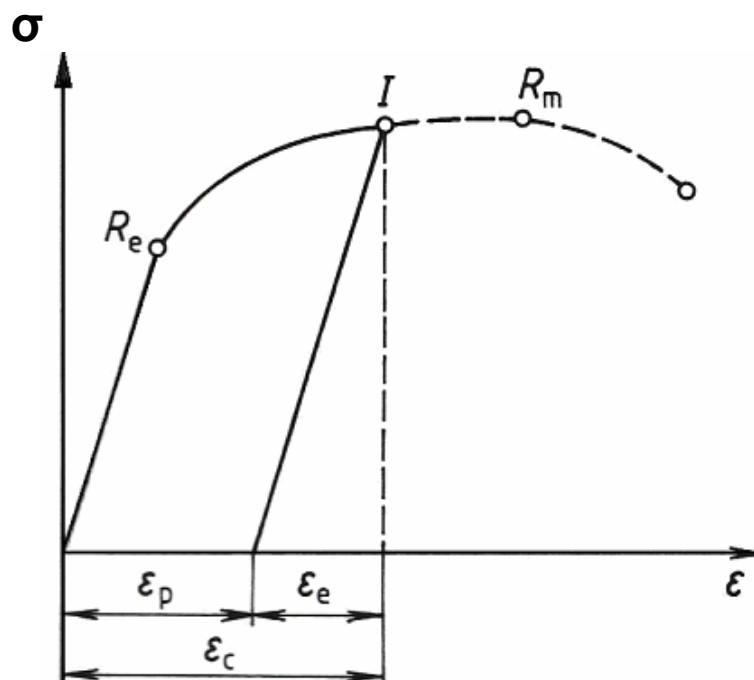
#### 3.2 Rozdělení tváření [1]

a) *tváření objemové* - v tělese se vyskytuje prostorový stav napjatosti a dochází k přemísťování materiálu v celém objemu tělesa. Podstatně se mění také průřez výchozího polotovaru.

b) *tváření plošné* - v tělese se vyskytuje převážně rovinný stav napjatosti. Změna tvaru polotovaru probíhá bez podstatné změny tloušťky výchozího materiálu.

#### 3.3 Plastická deformace

Při zatěžování kovového materiálu tahovou silou vzniká v materiálu deformace, která je do určité hodnoty tahového napětí vratná - elastická. Po překročení hodnoty napětí označované pro jednoosou napjatost jako mez kluzu, dochází k deformaci nevratné - plastické. Po odlehčení se materiál vrátí o hodnotu elastické deformace, přičemž plastická deformace zůstává. Při tváření je tedy nutné překročit mez kluzu, aby došlo ke změně tvaru, nesmí se však dosáhnout meze pevnosti, což by způsobilo porušení materiálu.



Obr.2 Tahový diagram [1]

### 3.3.1 Mechanismus plastické deformace

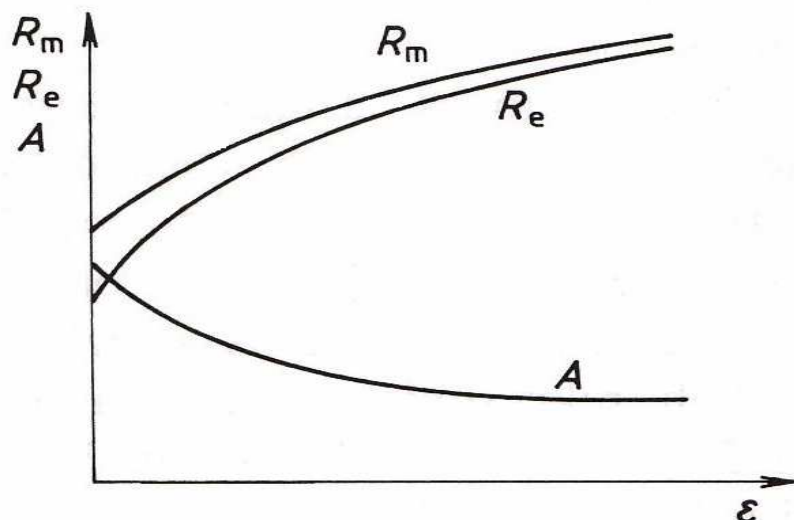
Přemísťování hmoty se při plastické deformaci děje na základě difuzního pohybu a také pohybu dislokací. Při teplotách, kdy je difuzní pohyb atomů materiálu málo významný, probíhá plastická deformace na základě skluzu dislokací. Většina kovů má vysoký počet skluzových systémů a tím i velkou tvárnost. Se zvyšující se teplotou roste aktivita těchto systémů a tím se také zvyšuje tvárnost. Deformací kovů dochází k podstatným změnám mechanických, fyzikálních a strukturních vlastností těchto materiálů. Tyto změny jsou závislé na teplotě, při které deformace probíhá. Podle velikosti tvářecí teploty vzhledem k teplotě rekrytalizační se rozděluje tváření na tváření za studena a tváření za tepla.

Tváření za studena:  $T_{\text{MAT}} < T_{\text{REK}}$  (3.1) [1]

Tváření za tepla:  $T_{\text{MAT}} > T_{\text{REK}}$  (3.2) [1]

### 3.4 Tváření za studena [1]

Současně s plastickou deformací nastává v materiálu deformační zpevnění, které ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti. Z mechanických vlastností se jedná o pokles tažnosti a vrubové houževnatosti. Naproti tomu vzrůstá pevnost a tvrdost. Všechny tyto procesy negativně ovlivňují vlastnost materiálu označovanou jako plastičnost. Prudký pokles tažnosti nastává hlavně na začátku deformace. Mez kluzu a mez pevnosti neustále rostou. Rychlost růstu meze kluzu je vyšší než mez pevnosti a při velkých deformacích může nastat situace, kdy mez kluzu dosáhne meze pevnosti. Změnou fyzikálních vlastností je nárůst hustoty, roste také elektrický odpor a dochází ke ztrátě odolnosti materiálu vůči korozi.



Obr.3 Závislost mechanických vlastností materiálu na velikosti deformace [1]

Při plastické deformaci se jednotlivá zrna kovu protahují a natáčí ve směru působení vnější síly a dále se rozpadají na menší zrna. Pokud mají vměstky v kovu dostatečně velkou tvárnost, protahují se podobně jako zrna kovu. Při jejich malé tvárnosti se však drobí na menší celky, které jsou situovány do řad sledujících směr deformace kovu, vzniká tzv. textura. Tyto jevy jsou příčinou vzniku anizotropie mechanických vlastností deformovaného materiálu, především vrubové houževnatosti. Ta je vyšší ve směru vláken než napříč vlákny. Deformační zpevnění, ke kterému při tváření za studena dochází, lze výhodně využít v praxi. Nevýhodou tváření za studena je pokles plastičnosti, což v některých případech vyžaduje návrat zdeformované struktury zpět do původního stavu, tedy regeneraci mechanických vlastností. Regenerace vlastností se zajistí tepelným procesem. Při teplotě  $T \approx 0,3 T_{\text{Tav}}$  nastává difúze bodových poruch, které postupně zanikají. Tento děj je nazýván jako zotavení. Pokud se teplota zvýší na hodnotu  $T > 0,4 T_{\text{Tav}}$ , dojde k rekrytalizaci deformovaného kovu, zdeformovaná zrna jsou nahrazena novými nezdeformovanými zrny s nízkým počtem dislokací. K rekrytalizaci dochází až od určitého stupně deformace  $\varepsilon = 5$  až 10 %. Při takto nízké deformaci však vzniká hrubá struktura se špatnými mechanickými vlastnostmi. K dosažení jemnozrné struktury je zapotřebí hodnot deformace několikanásobně vyšší.

### 3.5 Deformační odpor materiálu [1]

Jako deformační odpor je označován souhrn všech napětí, která musí být překonána během tvářecího procesu. Deformační odpor lze rozdělit na přirozený deformační odpor daný vnitřní pevností materiálu a složku pasivních odporů souvisejících s pohybem plechu v nástroji, tedy především tření. Přirozený deformační odpor je závislý na pevnosti materiálu a faktorech, které pevnost kovu během procesu tváření ovlivňují. Jedná se o rychlost a velikost deformace a o teplotu.

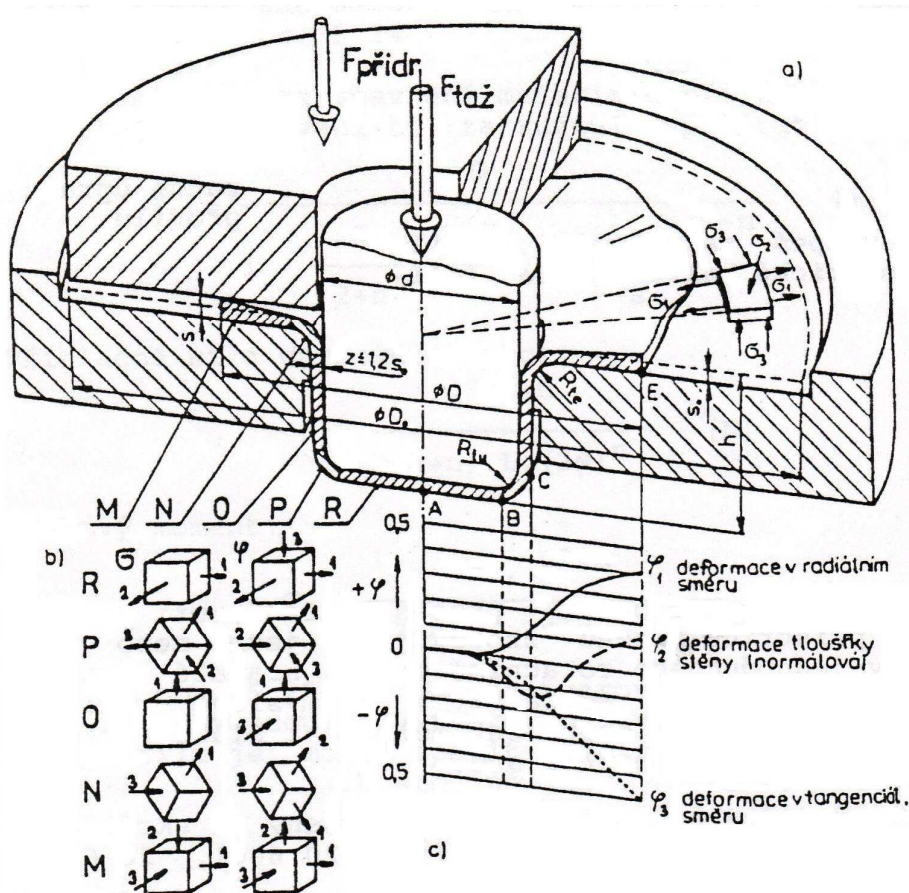
### 3.6 Tvařitelnost materiálu [2]

Tvařitelnost, neboli plastičnost, je definována jako schopnost materiálu trvale se deformovat při působení vnějších sil. Tvařitelnost je určena chemickým složením a strukturou materiálu. Vhodnost použití materiálu pro tvářecí procesy

Ize určit na základě několika různých mechanických vlastností. Jejich hodnoty se určují při materiálových zkouškách. Jedná se především o mez kluzu, mez pevnosti, tažnost, kontrakci a koeficient normálové anizotropie.

## 4 Tažení plechu

Tažení je technologický proces tváření, kterým se z plechu jednou nebo více operacemi zhotovují výrobky rotačních tvarů, hranaté součásti nebo složité nesymetrické výtažky. Při tažení válcové nádoby je výchozím polotovarem kruhový rovinný přístřih nazývaný též rondel. Rondel je protahován tažníkem skrz otvor v tažnici do tvaru válce se dnem. Elementární tělesa rondelu jsou během tažení přeměňovány na prodloužená tělesa pláště válce výtažku. Tento proces způsobí v plechu složitou plastickou deformaci.



- a) řez nástrojem během tažení s přidržovačem
- b) znázornění hlavních napětí v jednotlivých místech výtažku
- c) průběh deformací

Obr.4 Tažení válcového výtažku s přidržovačem [1]

### 4.1 Ocelové materiály pro tažení [6]

Ocelové plechy pro hluboké tažení se vyrábí válcováním za studena nebo za tepla. Základním požadavkem na materiál je co nejnižší mez kluzu, aby plastická deformace probíhala již při nízkém napětí. Nejlepší materiály pro tažení mají mez kluzu maximálně 160 MPa, tažnost větší než 45% a poměr meze

kluzu k mezi pevnosti kolem 0,6. U hlubokotažných ocelí jsou požadovány plastické vlastnosti v celém tvářeném objemu, minimální rozdíly v tloušťce plechu, nízký sklon ke stárnutí a nízká cena. Vlastnosti ocelí pro tažení ovlivňuje kromě technologie výroby plechů také jejich chemické složení. Největší vliv na mez kluzu má uhlík, proto je jeho obsah v oceli snižován pod 0,1%. Ekonomicky lze vyrobit plechy s obsahem uhlíku do 0,02%, což je tak malé množství, že při rychlejším ochlazování zůstává uhlík rozpuštěný ve feritu. Křemík zvyšuje mez kluzu a pružnost, proto by mělo být jeho množství minimální. Vlastnosti hlubokotažných ocelí ovlivňuje také velikost zrna, a to tak, že jemnozrnná struktura zvyšuje mez kluzu. Ocele na hlubokotažné plechy se odlévají buď jako neuklidněné nebo uklidněné. Plechy z neuklidněné ocele mají lepší povrch a hrubozrnnou strukturu. Jestliže se však vyrábí válcováním za studena, je nutno je zpracovat zhruba do jednoho měsíce, neboť po delší době stárnou, tedy zvyšuje se mez kluzu a klesá tažnost. Hliníkem uklidněné ocele mají nižší sklon ke stárnutí, ale menší velikost zrna a tím pádem vyšší mez kluzu. Výhodou je, že hliník nezvyšuje mez kluzu feritu, nevýhodou horší povrch plechu. Kvalita hlubokotažných plechů se určuje z chemického a metalografického rozboru a z výsledků tahové zkoušky.

## 4.2 Zkoušky tvařitelnosti

Tvařitelnost materiálu lze stanovit na základě zkoušek mechanických vlastností materiálu, nebo provedením technologických zkoušek, které simulují podmínky podobné jako při vlastním procesu tváření.

### 4.2.1 Tahová zkouška [2], [4]

Základní informace o vhodnosti materiálu pro tažení lze získat z tahové zkoušky dle ČSN EN 1002-1. Výsledkem tahové zkoušky jsou následující údaje:

- mez kluzu  $R_e$  ( $R_{p0,2}$  u materiálů bez výrazné meze kluzu)
- mez pevnosti  $R_m$
- tažnost  $A$
- kontrakce  $Z$

Z těchto čtyř hodnot lze vytvořit základní hodnocení plechu, které však neumožňuje dostatečně přesně určit rozdíly mechanických vlastností, které často výrazně ovlivňují tvařitelnost, především hlubokotažnost. Z tohoto důvodu se ještě z tahové zkoušky určuje hodnota plošné anizotropie mechanických vlastností pro různé směry v rovině plechu a hodnota součinitele plastické anizotropie. Hodnoty meze kluzu  $R_e$  a meze pevnosti  $R_m$  určují tvařitelnost materiálu vzhledem k tvářecí síle, méně však z hlediska deformací. Nejdůležitější je hodnota vzájemného poměru obou napětí. Velikost tohoto poměru by měla být:

$$\frac{R_e}{R_m} = 0,35 \div 0,85 \quad (4.1)$$

Materiály mající nízký poměr obou napětí disponují ve smluvním pracovním diagramu velkou oblastí plastické deformace, tedy vysokou tažností. Pokud materiál vykazuje vyšší hodnotu tohoto poměru je obtížně tvařitelný.

### 4.3 Plošná anizotropie [4]

Plošná anizotropie je definována jako nestejnomyšlnost mechanických a fyzikálních vlastností materiálu v rovině tabule plechu vzhledem ke směru válcování. Vzniká důsledkem strukturní a krystalografické textury, které se odvíjejí od metalurgických podmínek výroby plechů. Zjištění plošné anizotropie se provádí na základě tahových zkoušek zkušebních plochých tyčí odebraných z tabule plechu pod úhly 0°; 45° a 90° vzhledem ke směru válcování tabule plechu. Rozmístění zkušebních vzorků na tabuli plechu, vlastní tahová zkouška a zkušební zařízení podléhají platným normám. Číselná hodnota plošné anizotropie mechanických vlastností se vyjadřuje tímto vztahem:

$$a_{Rp0,2} = \frac{Rp0,2(\alpha^\circ) - Rp0,2(0^\circ)}{Rp0,2(0^\circ)} \quad (4.2)$$

$\alpha$  - úhel zvoleného směru v rovině plechu vzhledem ke směru válcování [°]

0 - úhel odpovídající směru válcování [°]

$a_{Rp0,2}$  - anizotropie smluvní meze kluzu

$R_{p0,2}$  - smluvní mez kluzu [MPa]

Tento vztah analogicky platí také pro  $R_m$  atd. Plošná anizotropie negativně ovlivňuje odchylky rozměrů hlubokých výtažků. Při hlubokém tažení symetrických výtažků způsobuje na vnějším okraji výtažku nebo na přírubě vznik cípů. Za výhodu ji lze považovat pouze při tažení nesymetrických výtažků, kdy je nutno směr s nejlepšími plastickými vlastnostmi orientovat do míst nejobtížnějších podmínek deformace na výtažku.

### 4.4 Součinitel plastické anizotropie

Dříve též nazývaný jako normálová anizotropie, popisuje nerovnoměrnosti mechanických vlastností v rovině plechu vzhledem k mechanickým vlastnostem ve směru kolmém na rovinu plechu, tedy ve směru tloušťky plechu. Velikost součinitele plastické anizotropie udává schopnost materiálu odolávat ztenčení při tažení. Čím je její hodnota vyšší tím je vyšší i tvařitelnost a materiál je vhodnější pro hluboké tažení. Zjišťuje se pro směry tažení 0°; 45° a 90°. Číselná hodnota součinitele plastické anizotropie je dána podílem skutečné deformace ve směru šířky k deformaci ve směru tloušťky plechu.

$$r = \frac{\varphi_b}{\varphi_s} = \frac{\ln \frac{b_0}{b}}{\ln \frac{s_0}{s_{20}}} \quad (4.3)$$

$\varphi_b$  -logaritmická deformace ve směru šířky vzorku [ - ]

$\varphi_s$  -logaritmická deformace ve směru tloušťky vzorku [ - ]

$b$  - výchozí šířka zkušební tyče [mm]

$b_{20}$  -šířka zkušební tyče po 20% plastické deformaci v tahu [mm]

$s$  - výchozí tloušťka zkušební tyče [mm]

$s_{20}$  - tloušťka zkušební tyče po 20% plastické deformaci v tahu [mm]

$\alpha$  - úhel (0°; 45°; 90°) vzhledem ke směru válcování plechu.



Kriteriem tvařitelnosti je střední hodnota součinitele plastické anizotropie:

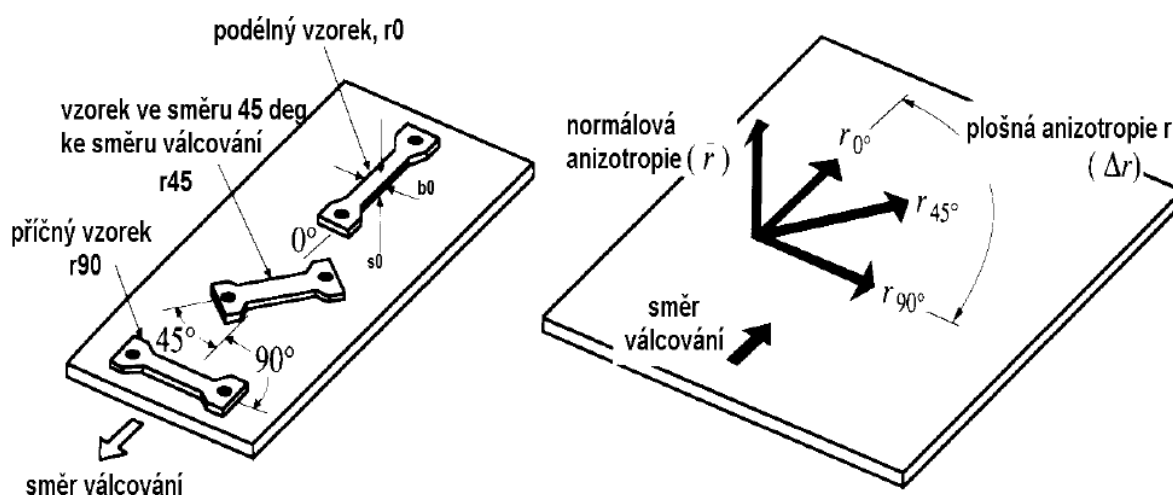
$$r_s = \frac{(r_0 + 2 \cdot r_{45} + r_{90})}{4} \quad (4.4)$$

$r_s$  – střední hodnota součinitele plastické anizotropie

$r_0$  – hodnota anizotropie zjištěná ve směru  $0^\circ$  ke směru válcování plechu

$r_{45}$  – hodnota anizotropie zjištěná ve směru  $45^\circ$  ke směru válcování plechu

$r_{90}$  – hodnota anizotropie zjištěná ve směru  $90^\circ$  ke směru válcování plechu

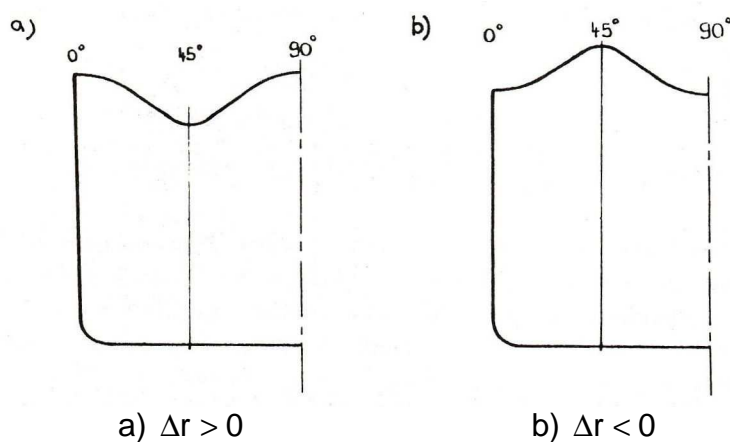


Obr.5 Rozmístění vzorků na tabuli plechu, zobrazení plošné anizotropie a součinitele plastické anizotropie. [5]

#### 4.5 Cípatost výtažků [2]

Cípatost výtažků se hodnotí na základě plošné a normálové anizotropie. Velikost cípů a místa jejich vzniku se vypočítají pomocí hodnoty stupně plošné anizotropie  $\Delta r$

$$\Delta r = \frac{(r_0 - 2 \cdot r_{45} + r_{90})}{2} \quad (4.5)$$



Obr.6 Místa tvorby cípů na výtažku [2]

Pokud je  $\Delta r > 0$ , cípy se tvoří ve směrech  $0^\circ$  a  $90^\circ$  ke směru válcování plechu.  
Pokud je  $\Delta r < 0$ , cípy se tvoří ve směrech  $+45^\circ$  a  $-45^\circ$  ke směru válcování plechu.  
Pokud je  $\Delta r = 0$ , cípy se netvoří.

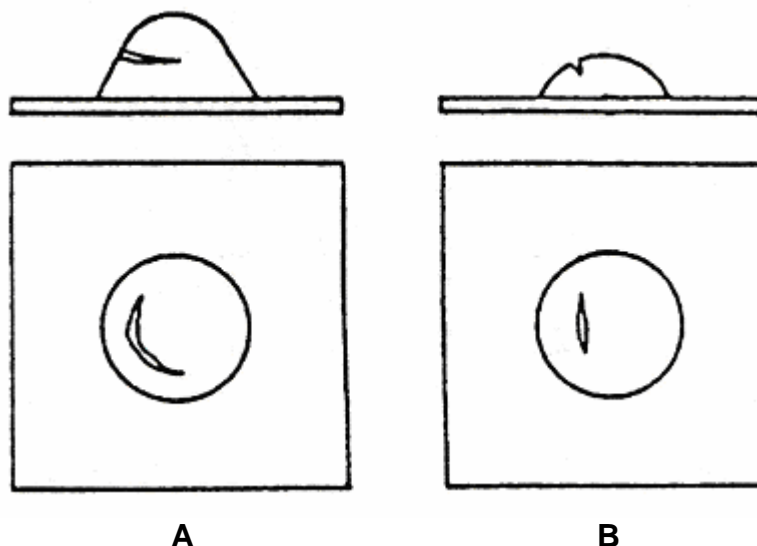
Čím nižší je hodnota  $\Delta r$  a vyšší střední hodnota normálové anizotropie  $r_s$ , tím méně dochází ke ztenčování stěny výtažků a plech je vhodnější k hlubokému tažení.

#### 4.6 Technologické zkoušky hlubokotažnosti materiálu

Další možností vyhodnocování tvařitelnosti jsou zkoušky technologické. Tyto zkoušky se provádějí za stejných nebo alespoň podobných podmínek jako samotný tvářecí proces. Jedná se o zkoušky Erichsenovu, zkoušku Siebel-Pomp, Fukui, Engelhardt atd. Každá z těchto zkoušek hodnotí materiál z jiného hlediska, a proto si v některých případech jejich výsledky mohou i navzájem odporovat. Z tohoto důvodu je nutné vybrat takovou zkoušku, která se svým charakterem nejvíce podobá danému způsobu tváření.

##### 4.6.1 Erichsenova zkouška

Zkouška hloubením podle Erichsena posuzuje hlubokotažnost tenkých plechů. Plech se upne mezi přidržovač a tažnici. Tažníkem je koule  $\varnothing 20$  mm, která je rovnoměrně, buď ručně nebo hydraulicky, vtlačována do středu plechu a vytváří v plechu prohloubení. Tažník se vtlačuje tak dlouho, dokud nevznikne v plechu první trhlinka skrz celou tloušťku. Kritériem hlubokotažnosti plechu je velikost prohloubení, při kterém vznikne trhlinka. Zkouška je velmi jednoduchá na provedení, je rychlá a nenáročná na přípravu zkušební vzorku. Nevýhodou je velký rozptyl výsledků, a to i při zkoušení vzorků ze stejného materiálu, tedy se stejnými vlastnostmi. Zkouška neposkytuje informace o anizotropii mechanických vlastností plechu. Výsledky jsou zkreslené také při ručním vtlačování tažníku vlivem nestejné rychlosti a plynulosti pohybu tažníku.



A - typický tvar prohloubení hlubokotažného plechu  
B – tvar prohloubení plechu nevhodného pro tažení

Obr.7 Vzhled vzorku po zkoušce [4]

## 5 Technologie tažení

### 5.1 Kriterium použití přidržovače [12], [3]

Nízké výtažky z relativně tlustého materiálu se většinou táhnou bez přidržovače za podmínky, že redukce při tažení je poměrně malá, jinak by mohlo dojít k zvlnění okraje přístřihu. Nutnost použití přidržovače se zjišťuje pomocí empirických vztahů.

$$u = 50 \cdot \left( z - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) \quad (5.1)$$

$z$  – materiálová konstanta – pro ocel:  $z = 1,9$

Pokud platí podmínka:

$$u \geq \frac{100 \cdot d}{D_0} \quad \text{- není nutné použít přidržovač} \quad (5.2)$$

$$u < \frac{100 \cdot d}{D_0} \quad \text{- je nutné použít přidržovač} \quad (5.3)$$

V případě, že je použit přidržovač, je přístřih při tažení svírán mezi přidržovačem a tažnicí přidržovací silou, jejíž velikost musí být tak velká, aby zabránila zvlnění okraje rondelu, nesmí však zabránit vtahování plechu do tažnice tlakem tažníku. Při tažení mělkých výtažků s vypouklým dnem nebo při tažení nerotačních tvarů je nutno přidržovat polotovar velmi pevně, aby se vůbec umožnilo tažení, případně i částečné zeslabení stěny. Toho se dosáhne použitím tzv. brzdících lišt. Brzdící lišty mohou být umístěny u kruhových výtažků přímo v tažnici či přidržovači. Plech se tažením přes brzdící lišty značně zpevňuje.

### 5.2 Přesnost výtažků

Rozměrová přesnost příčného průřezu výtažku je ovlivněna mnoha faktory jako je přesnost výroby pracovních částí nástroje, velikost jejich opotřebení, odpružení plechu po vyjmutí z tažnice, velikost tažné mezery a normálová anizotropie materiálu. Tyto vlivy umožňují výrobu výtažků s přesností příčných rozměrů v třídách přesnosti IT12 až IT11, kalibrací lze dosáhnout tříd IT8 až IT7.

Tloušťka materiálu s [mm]	Výška výtažku [mm]					
	do 18	18 až 30	30 až 50	50 až 80	80 až 120	120 až 180
do 1	±0,5	±0,6	±0,8	±1,0	±1,2	±1,5
1 až 2	±0,6	±0,8	±1,0	±1,2	±1,5	±1,8
2 až 4	±0,8	±1,0	±1,2	±1,5	±1,8	±2,0
4 až 6	±1,0	±1,2	±1,5	±1,8	±2,0	±2,5

Tab. 2 Tolerance rozměrů výtažků bez příruby

Výšková přesnost výtažků je ovlivněna přesností výchozího materiálu, přesností výroby nástroje a jeho opotřebením, velikostí poloměru tažnice, velikostí tažné vůle, velikostí tlaku přidržovače, způsobem mazání a přesností ustavení výchozího polotovaru v nástroji.

Tloušťka materiálu s [mm]	Výška výtažku [mm]					
	do 18	18 až 30	30 až 50	50 až 80	80 až 120	120 až 180
do 1	±0,3	±0,4	±0,5	±0,6	±0,8	±1,0
1 až 2	±0,4	±0,5	±0,6	±0,7	±0,9	±1,2
2 až 4	±0,5	±0,6	±0,7	±0,8	±1,0	±1,4
4 až 6	±0,6	±0,7	±0,8	±0,9	±1,1	±1,6

Tab. 3 Tolerance rozměrů výtažků s přírubou

### 5.3 Tažná síla

V praxi se výpočet velikosti tažné síly provádí pro rychlé určení jmenovité síly lisu a také jako kontrolní výpočet. Celková síla se skládá ze síly přidržovače a samotné tažné síly. Skutečná tažná síla nesmí překročit sílu potřebnou na utržení dna, jinak by došlo k porušení materiálu. Pro návrh stroje se s dostatečnou přesností počítá se silou na utržení dna.

Síla na utržení dna

$$F_T = \pi \cdot d \cdot s \cdot R_m \cdot c \quad (5.4)$$

c - součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení vzhledem k poměru  $\frac{s}{D_0}$

Síla přidržovače

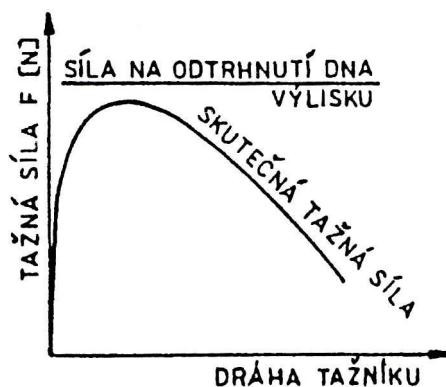
$$F_P = S \cdot p \quad (5.5)$$

S- plocha příruby pod přidržovačem

p – tlak přidržovače - pro hlubokotažnou ocel:  $p=2\div3$  MPa [12]

Celková síla

$$F_C = F_T + F_P \quad (5.6)$$



Obr.8 Průběh tažné síly v závislosti na dráze tažníku [4]

## 5.4 Tažná mezera [2]

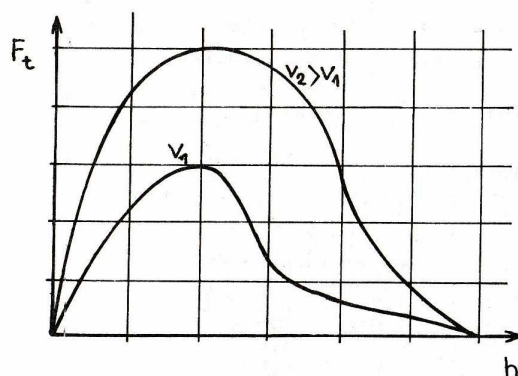
Tažná mezera je vzdálenost mezi tažníkem a tažnicí. Při tažení bez ztenčení stěny je tažná mezera větší než je tloušťka taženého plechu především kvůli úchytkám tloušťky plechu a snížení tření. Mezera větší než tloušťka plechu snižuje tažnou sílu, avšak do určité míry.

Velikost tažné mezery z pro první tah

$$v = (1,2 \div 1,3) \cdot s \quad (5.7)$$

Velikost tažné mezery z pro další tahy:

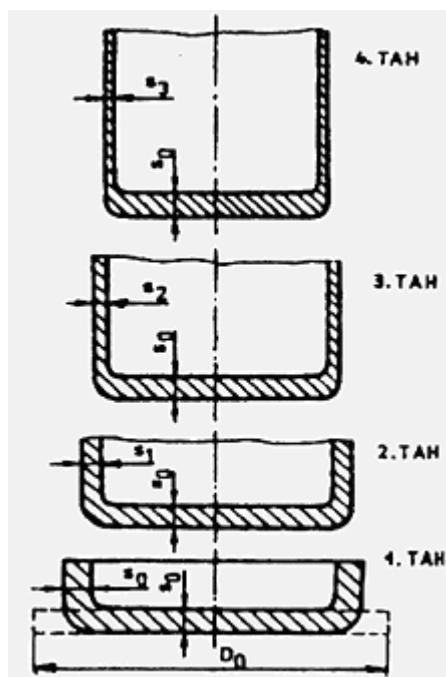
$$v = (1,1 \div 1,2) \cdot s \quad (5.8)$$



Obr.9 Průběh tažné síly v závislosti na tažné vůli [2]

## 5.5 Tažení se ztenčením stěny

Tato technologie se používá, pokud je stanoven zvláštní požadavek na menší tloušťku stěny než je tloušťka dna – například při tažení nábojnice. K redukci tloušťky plechu dochází díky tažné mezeře menší než je tloušťka plechu. Po prvním tahu se získá kalíšek bez ztenčené stěny. Redukce tloušťky stěny se provádí až v dalších operacích. Lze ji však dosáhnout už při prvním tahu použitím kuželové náběhové hrany tažnice.



Obr.10 Schéma tažení se ztenčením stěny

## 5.6 Určení velikosti výchozího polotovaru

Základem pro stanovení velikosti polotovaru je zachování objemu výtažku vzhledem k objemu polotovaru. Pokud se tloušťka stěny nemění, zjednoduší se výpočet na podmínku rovnosti ploch. Při tažení tenkých plechů do 3 mm tloušťky se počítá vnější rozměr výtažku, u tlustých plechů vychází výpočet ze středního průměru výtažku. Jelikož při tažení dochází k tvorbě cípů, zvětšuje se vypočítaný průměr přístřihu o 3% pro první tah a o 1% pro každý další tah.

### 5.6.1 Výpočet polotovaru pro složité tvary [10]

Průměr rondelu pro součást složitěho rotačního tvaru se vypočítá pomocí Guldinovy věty. Objem rotačního tělesa lze vypočítat jako objem hranolu, jehož podstava má stejný obsah jako je obsah rotujícího obrazce a jehož výška se rovná obvodu kružnice o poloměru odpovídajícím vzdálenosti těžiště rotujícího obrazce od osy rotace.

## 5.7 Určení počtu tažných operací [8]

Tažením z přístřihu daného průměru lze vytáhnout pouze výrobek o určitém minimálním průměru. Je-li požadován průměr menší, je nutno zařadit další tažnou operaci. Obvykle se po třetí tažné operaci zařazuje rekrytalizační žihání z důvodu obnovení zásoby plasticity. Potřeba dalších operací se určí z velikosti koeficientu tažení pro první tah. Pokud je vypočítaná hodnota součinitele tažení menší než hodnota doporučená pro první tah, je zapotřebí tažení rozložit na více operací tak, aby se v první operaci táhlo s co nejnižším koeficientem tažení.

$$\text{Koeficient tažení pro první tah: } m_1 = \frac{d}{D_0} \quad (5.9)$$

$\frac{s}{D_0} \cdot 100$		2÷1,5	1,5÷1,0	1÷0,6	0,6÷0,3	0,3÷0,15	0,15÷0,08
Součinitel tažení	$m_1$	0,49	0,52	0,54	0,57	0,59	0,62
	$m_2$	0,74	0,76	0,77	0,78	0,8	0,81
	$m_3$	0,77	0,79	0,8	0,81	0,82	0,84
	$m_4$	0,79	0,81	0,82	0,83	0,84	0,86
	$m_5$	0,81	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88

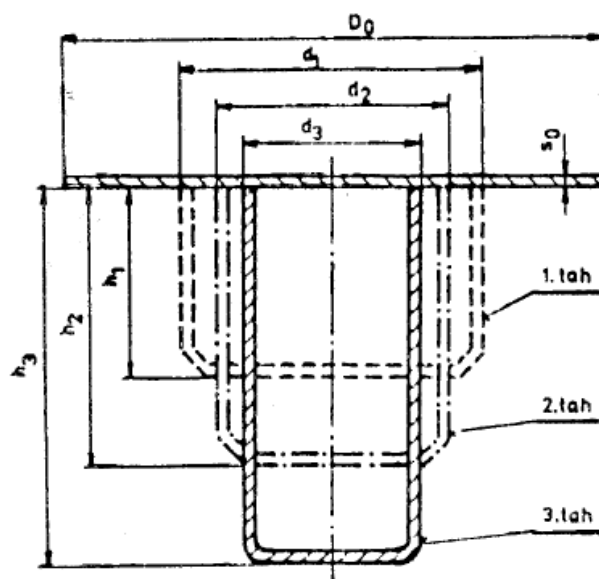
Tab.4 Mezní hodnoty součinitele tažení

Koeficient tažení pro další tahy:

$$m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} \quad (5.10)$$

Celkový koeficient tažení:

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n \quad (5.11)$$

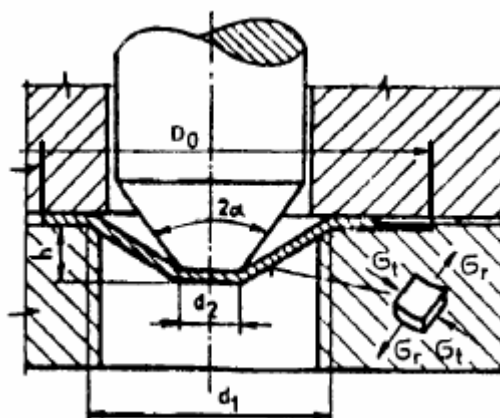


Obr.11 Schema víceoperačního tažení [7]

### 5.8 Tažení kuželových výtažků [1]

Při tažení kuželových výtažků může dojít ke dvěma problémům. Prvním je možnost tvorby vln druhé skupiny tím, že část materiálu mezi tažnicí a tažníkem není vedena. Vlny vznikají vlivem působení tangenciálního tlakového napětí. Snížení tohoto napětí lze dosáhnout například použitím brzdících žeber, čímž je plech vypínán a dochází k částečnému zeslabení stěny výtažku. Druhým problémem je malý přenosový průřez na dně výtažku a tedy riziko utržení dna. Podle poměru výšky k průměru lze kuželové výtažky rozdělit do třech skupin:

- nízké
- středně hluboké
- hluboké



Obr.12 Tažení kuželových výtažků [7]

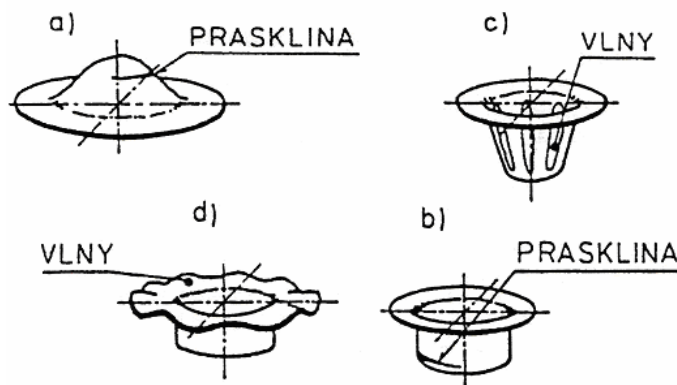
### 5.9 Mazání při tažení [2]

Tření během hlubokého tažení mezi plechem a tažnicí zvyšuje radiální napětí v přenosovém průřezu, což v konečném důsledku snižuje hloubku výtažku. Naproti tomu tření mezi plechem a tažníkem má na tažení pozitivní vliv. Toto tření přenáší část tažné síly, čímž se snižuje napětí v přenosovém průřezu a je tedy možné vytáhnout hlubší výtažek. U mnoha tažných nástrojů je toto tření zvyšováno záměrně například zdrsněním válcové plochy tažníku. Ke snížení tření

v nástroji se používají speciální maziva, jejichž základem jsou minerální oleje. Maziva musí vytvářet na povrchu souvislý film, musí dobře přilnout k povrchu, ale zároveň musí být snadno odstranitelná.

### 5.10 Vady výtažků

Při tažení může dojít ke vzniku vad jako jsou vlny, trhliny nebo zadírání materiálu nástroje a plechu. Vlny na plášti lze vyrovnat například kalibrováním, vlny na přírubě lze odstranit použitím přidržovače, případně ostřížením příruby. Ke vzniku trhlin může dojít buď vyčerpáním zásoby plasticity v místě největší deformace nebo překročením meze pevnosti v tahu v tzv. přenosovém průřezu.



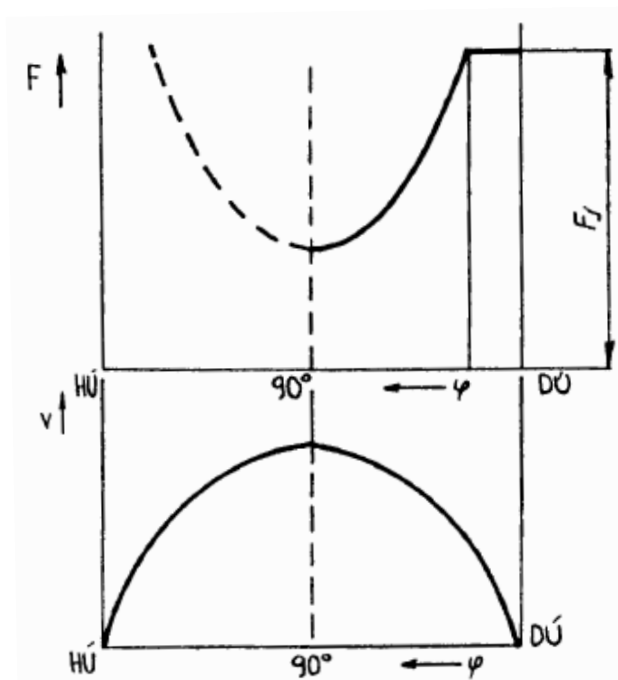
- a) prasklina s charakterem tvárného lomu v nejvíce deformované oblasti výtažku
- b) prasklina vzniklá překročením meze pevnosti v tahu
- c) zvlnění na plášti – vlny II. druhu
- d) zvlnění příruby – vlny I. druhu

Obr.13 Vady výtažků [4]

### 5.11 Stroje pro tažení [9]

Vstupními podklady pro návrh stroje je velikost tažné síly a rozměry tažného nástroje. Jako zdroj tažné síly se nejčastěji používají mechanické lis, které pracují na principu klikového mechanismu. Průběh tvářecí síly je závislý na dráze beranu. To znamená, že maximální tvářecí sílu lze získat až těsně před dolní úvratí. Je tedy obtížné tvářet velkou silou na delší dráze. U těchto lisů je relativně velké riziko přetížení například založením plechu s větší tloušťkou do nástroje, než na kterou byl stroj seřízen. Z tohoto důvodu jsou lisy jištěny různými druhy pojistek.





Obr.14 Průběh síly a průběh rychlosti [9]

Alternativou mechanických lisů jsou lisy hydraulické, kde působí tlak kapaliny na píst přímočarého hydromotoru. Výhodou hydraulických lisů ve srovnání s mechanickými je konstantní průběh síly, lze tedy získat maximální sílu v libovolné části pracovního zdvihu. Mezi další výhody patří možnost plynulé regulace rychlosti beranu. Nevýhodou hydraulických lisů je složitější konstrukce pohonu, horší účinnost, vyšší pořizovací cena lisu při stejné jmenovité síle v porovnání s mechanickými lisy a v neposlední řadě náročnější údržba.

## 6 Konstrukce tažných nástrojů [2]

Základními pracovními prvky tažných nástrojů jsou tažník, tažnice a přidržovač. Tyto činné části musí být vůči sobě vhodně geometricky orientovány a upevněny na tvářecí stroj tak, aby bylo umožněno zakládání materiálu a vyjímání hotových výtažků bez omezení bezpečnosti obsluhy.

### 6.1 Tažník [2]

Tažník může být zhotoven z jednoho kusu materiálu nebo může být vložkován. Vložky se umísťují na tažnou hranu tažníku z důvodu velkého namáhání v tomto místě. Existují také tažníky se zdrsňujícími vložkami, které jsou na válcové ploše tažníku a mají za úkol zvýšit tření. Prostor mezi výtažkem a tažníkem musí být zavzdušněn, aby bylo možné výtažek z tažníku bez problému setřít. Přívod vzduchu je řešen většinou podélným otvorem skrz tažník.

### 6.2 Tažnice [2]

Tažnice mohou být také konstruovány jako celistvé nebo vložkované. Vložkuje se pouze tažná hrana. Materiál vložky může být buď nástrojová ocel nebo slinutý karbid popřípadě i keramika. Slinuté karbidy ani keramika nesnesou tahová napětí, která se při tažení na tažnici přenášejí. Proto se vložky lisují do tažnic s velkým přesahem, aby se ve vložce vyvodila tlaková napětí.

### 6.3 Přidržovač [2]

Tvar přidržovače přímo koresponduje s tvarem tažnice, protože jeho úkolem je přitlačit plech co největší plochou na plochu tažnice. Mechanické zatížení přidržovače není velké, proto může být celistvý bez vložek. Materiál přidržovače bývá šedá litina či nástrojová ocel.

### 6.4 Geometrie funkčních ploch nástroje

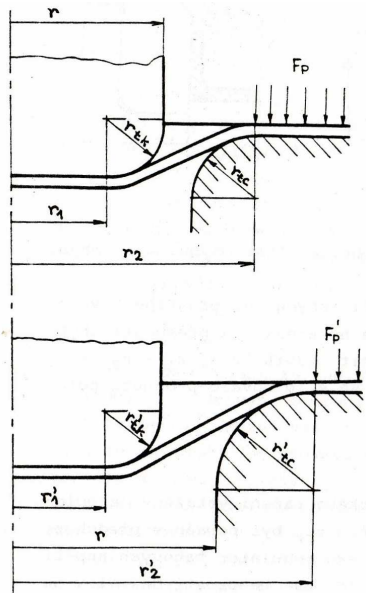
Kromě mechanických vlastností taženého materiálu ovlivňuje výrazně kvalitu výtažků tvar pracovních částí nástroje, zejména poloměr zaoblení tažnice a tažníku a také velikost tažné mezery.

#### 6.4.1 Poloměr zaoblení tažnice [2]

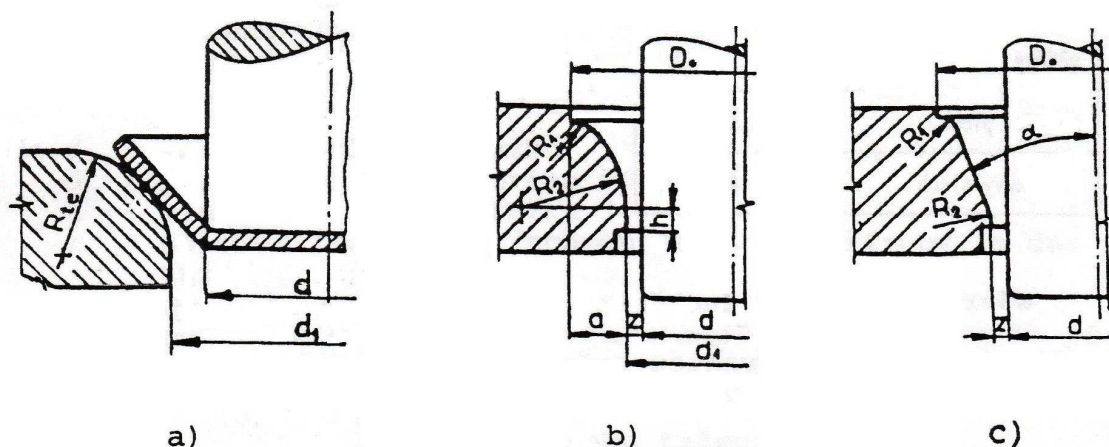
Poloměr zaoblení tažnice má bezprostřední vliv na velikost tvářecí síly. Čím je poloměr zaoblení tažnice větší, tím je tažení snadnější a je možno táhnout v jedné operaci hlubší výtažek. Současně však dochází ke zvětšování nevedené plochy příruby, což má za následek tvorbu vln první skupiny. Velikost poloměru zaoblení tažnice :

$$R_{tc} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d) \cdot s} \quad (6.1)$$

Doporučené hodnoty poloměru zaoblení tažnice jsou určeny na základě poměru tloušťky materiálu k průměru přístřihu. Pro tažení bez příruby a poměr  $\frac{s}{D_0} \cdot 100 = 1$  je doporučený poloměr tažné hrany 8 až 10 mm.



Obr.15 Vliv poloměru tažné hrany tažnice na rozložení přidržovací síly [2]



- a) velký poloměr zaoblení
- b) traktrix křivka
- c) kuželová plocha

Obr.16 Různé tvary tažné hrany tažnice [4]

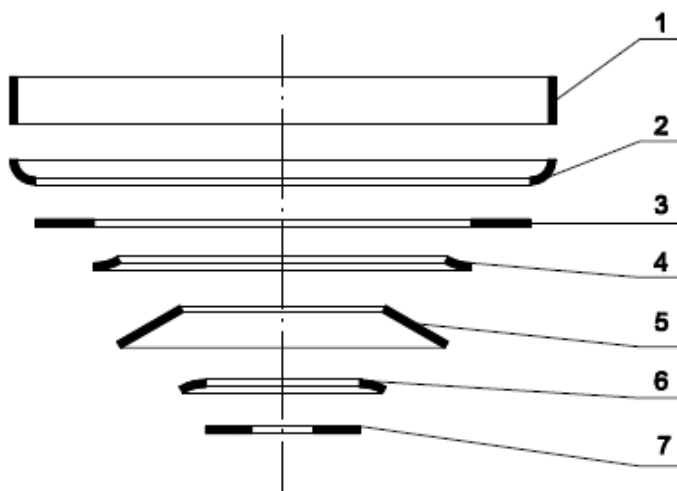
#### 6.4.2 Poloměr zaoblení tažníku [2]

Poloměr zaoblení tažníku se volí v závislosti na poměru  $\frac{s}{D_0}$  pro první tah. Pokud je požadován na výtažku poloměr menší, je nutno zařadit další operaci kalibrování, kdy se upravuje pouze poloměr zaoblení a průměr součásti se již nemění. Pro  $\frac{s}{D_0} \cdot 100 = 1$  je  $R_{tk} = R_{tc}$

## 7 Návrh technologie výroby

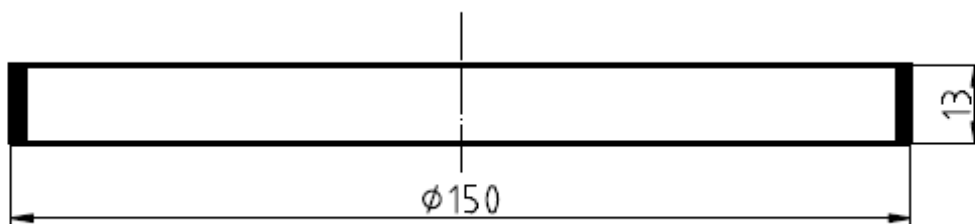
### 7.1 Určení velikosti výchozího polotovaru

Výpočet průměru rondelu je proveden na základě rovnosti objemů polotovaru a výrobku s využitím Guldinovy věty. Výtažek se rozloží na jednotlivé dílčí části, pro které se vypočítá objem.



Obr.17 Rozložení výtažku na jednotlivé části

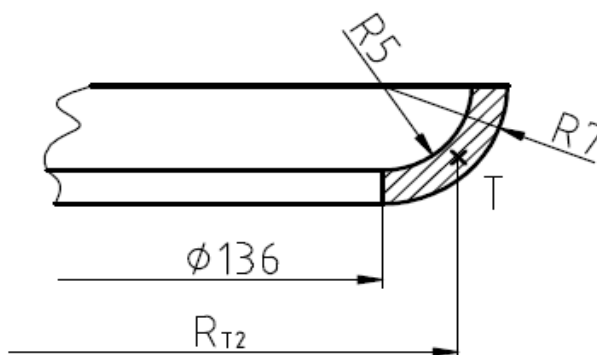
Objem části č. 1



Obr.18 Rozměry části č. 1

$$V_1 = \pi \cdot D_1 \cdot h_1 \cdot s = \pi \cdot 150 \cdot 13 \cdot 2 = 12252 \text{ mm}^3 \quad (7.1)$$

Objem části č. 2



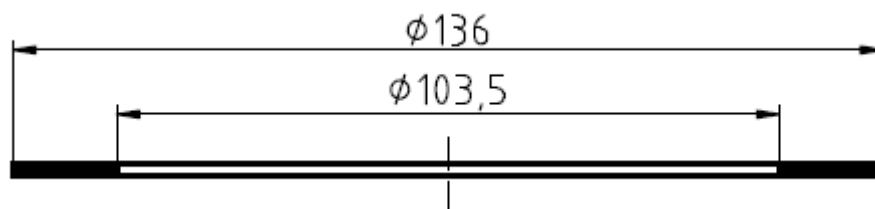
Obr.19 Rozměry části č. 2

$$S_2 = \frac{\pi \cdot 7^2}{4} - \frac{\pi \cdot 5^2}{4} = 18,85 \text{ mm}^2 \quad (7.2)$$

$$R_{T2} = \frac{136}{2} + \cos 45^\circ \cdot \left( 5 + \frac{t}{2} \right) = 72,24 \text{ mm} \quad (7.3)$$

$$V_2 = 2 \cdot \pi \cdot R_{T2} \cdot S_2 = 2 \cdot \pi \cdot 72,24 \cdot 18,85 = 8556 \text{ mm}^3 \quad (7.4)$$

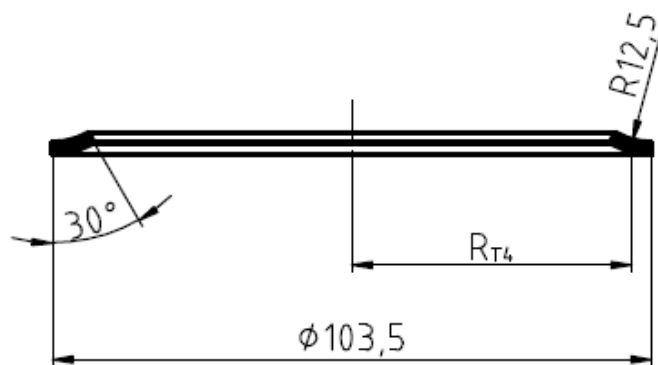
Objem části č. 3



Obr.20 Rozměry části č. 3

$$V_3 = \left( \frac{\pi \cdot 136^2}{4} - \frac{\pi \cdot 103,5^2}{4} \right) \cdot s = 12226,7 \text{ mm}^3 \quad (7.5)$$

Objem části č. 4



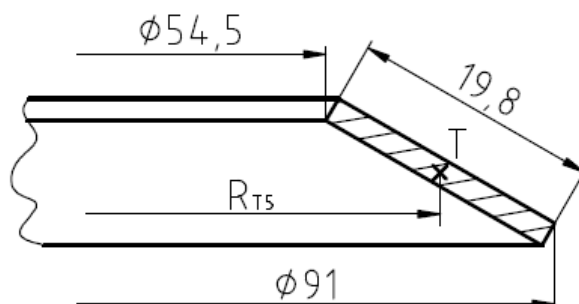
Obr.21 Rozměry části č. 4

$$S_4 = \frac{\pi \cdot 14,5^2}{12} - \frac{\pi \cdot 12,5^2}{12} = 14,14 \text{ mm}^2 \quad (7.6)$$

$$R_{T4} = \frac{103,5}{2} - \sin 15^\circ \cdot \left( 12,5 + \frac{s}{2} \right) = 48,26 \text{ mm} \quad (7.7)$$

$$V_4 = 2 \cdot \pi \cdot R_{T4} \cdot S_4 = 2 \cdot \pi \cdot 48,26 \cdot 14,14 = 4287,6 \text{ mm}^3 \quad (7.8)$$

Objem části č. 5



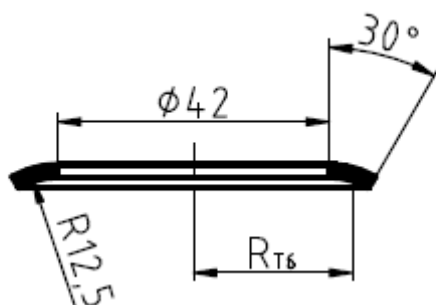
Obr.22 Rozměry části č. 5

$$S_5 = 19,8 \cdot 2 = 39,6 \text{ mm}^2 \quad (7.9)$$

$$R_{T5} = \frac{54,5 + 91}{2} = 72,75 \text{ mm} \quad (7.10)$$

$$V_5 = 2 \cdot \pi \cdot R_{T5} \cdot S_5 = 2 \cdot \pi \cdot 72,75 \cdot 39,6 = 18101 \text{ mm}^3 \quad (7.11)$$

Objem části č. 6



Obr.23 Rozměry části č. 6

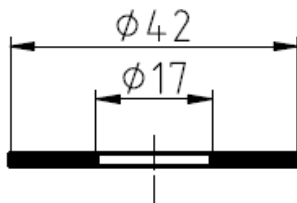
$$S_6 = \frac{\pi \cdot 14,5^2}{12} - \frac{\pi \cdot 12,5^2}{12} = 14,14 \text{ mm}^2 \quad (7.12)$$

$$R_{T6} = \frac{42}{2} + \sin 15^\circ \cdot \left( 12,5 + \frac{s}{2} \right) = 24,49 \text{ mm} \quad (7.13)$$

$$V_6 = 2 \cdot \pi \cdot R_{T6} \cdot S_6 = 2 \cdot \pi \cdot 24,49 \cdot 14,14 = 2175,8 \text{ mm}^3 \quad (7.14)$$

Objem části č. 7

Otvor  $\varnothing 17$  mm je v součásti vystřižen ještě před tažením, pro výpočet objemu se otvor neuvažuje, výpočet je proveden jako pro plný materiál.



Obr.24 Rozměry části č. 7

$$V_7 = \frac{\pi \cdot 42^2}{4} = 1385,4 \text{ mm}^3 \quad (7.15)$$

Celkový objem součásti

$$V_c = \sum V_i = 12252 + 8556 + 12226,7 + 4287,6 + 18101 + 2175,8 + 1385,4 = 58984,5 \text{ mm}^3 \quad (7.16)$$

Výpočet průměru rondelu

$$D_0 = 1,03 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot s}} = 199,6 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm} \quad (7.17)$$

## 7.2 Výpočet střížné síly a návrh stroje

Výpočet je důležitý kvůli návrhu lisu pro operaci vystřihování přístříhu.

Střížná síla

$$F_{\text{stř}} = n \cdot \pi \cdot D_0 \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 440 = 531 \text{ kN} \quad (7.18)$$

$n$  - součinitel opotřebení nástroje = 1,2

Návrh stroje pro stříhání přístříhu

Vzhledem k velikosti střížné síly je doporučen výstředníkový lis LEN 63C s jmenovitou silou 630 kN.

## 7.3 Stříhání přístříhu

Rozměry můstku E mezi výstřížky a okraje pásu F se stanoví z nomogramu pro přímý stříh viz příloha č.1

Průměr rondelu je 200mm, tomu odpovídají hodnoty  $E_4$  a  $F_4$ .

Pro tloušťku plechu 2 mm je  $E_4=3,5$  mm,  $F_4=9$  mm.

Šířka pásu

$$\check{S} = D + F = 200 + 9 = 209 \text{ mm} \quad (7.19)$$

Délka kroku

$$K = D + E = 200 + 3,5 = 203,5 \text{ mm} \quad (7.20)$$

Počet pásů z 1 tabule:

$$P_{\text{pásů}} = \frac{\check{S} \cdot \text{tabule}}{\check{S} \cdot \text{pásu}} = \frac{1000}{209} = 4,78 \approx 4 \text{ celé pásy} \quad (7.21)$$

Počet výstřížků z 1 pásu:

$$P_{\text{výstř.}} = \frac{\text{délka pásu}}{\text{délka kroku}} = \frac{2000}{203,5} = 9,83 \approx 9 \text{ celých výstřížků} \quad (7.22)$$

Počet výstřížků z 1 tabule

$$P_{\text{výstř. / tab.}} = P_{\text{pásů}} \cdot P_{\text{výstř.}} = 4 \cdot 9 = 36 \text{ ks} \quad (7.23)$$

Využití polotovaru plechu v %

Plocha 1 výstřížku

$$S_{\text{výstř.}} = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} = \frac{\pi \cdot 200^2}{4} = 31415,9 \text{ mm}^2 \quad (7.24)$$

Plocha všech výstřížků

$$S_{\text{všech}} = P_{\text{výstř.}} \cdot S_{\text{výstř.}} = 36 \cdot 0,0314159 = 1,131 \text{ m}^2 \quad (7.25)$$

Využití tabule

$$\text{Využití} = \frac{S_{\text{všech}}}{S_{\text{tabule}}} \cdot 100 = \frac{1,131}{2} \cdot 100 = 56,6\% \quad (7.26)$$

## 7.4 Určení počtu tažných operací

Koeficient tažení pro první tah

$$m_1 = \frac{d}{D_0} = \frac{150}{200} = 0,75 \quad (7.27)$$

Mezní hodnota součinitele tažení m pro poměr  $\frac{s}{D_0} \cdot 100 = \frac{2}{200} \cdot 100 = 1$  (7.28)

$$m_{mez.} = 0,45 \quad (7.29)$$

$$m_1 > m_{mez} \quad (7.30)$$

**Tažení bude provedeno na jednu operaci.**

## 7.5 Použití přidržovače [12]

$$u = 50 \cdot \left( z - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) = 50 \cdot \left( 1,9 - \frac{\sqrt{2}}{\sqrt[3]{200}} \right) = 82,9 \quad (7.31)$$

$$\frac{100 \cdot d}{D_0} = \frac{100 \cdot 150}{200} = 75 \quad (7.32)$$

$$u \geq \frac{100 \cdot d}{D_0} \text{ - tažení by mělo být provedeno s přidržovačem} \quad (7.33)$$

Vzhledem k malé přidržované ploše bude tažení provedeno bez přidržovače.

## 7.6 Kontrolní výpočet tažné síly pro návrh jmenovité síly lisu

Mez pevnosti materiálu DD11:  $R_m = 440 \text{ MPa}$  (7.34)

Pro součinitel tažení  $m = 0,75$  je koeficient  $c = 0,5$

$$F_T = \pi \cdot d \cdot s_0 \cdot R_m \cdot c = \pi \cdot 146 \cdot 2 \cdot 440 \cdot 0,5 = 201,8 \text{ kN} \quad (7.35)$$

Poloměr zaoblení tažnice

$$R_{tc} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d) \cdot s} = 0,8 \cdot \sqrt{(200 - 150) \cdot 2} = 8 \text{ mm} \quad (7.36)$$

Poloměr zaoblení tažníku

$$\frac{s}{D_0} \cdot 100 = \frac{2}{200} \cdot 100 = 1 \quad (7.37)$$

$$R_{tk} = R_{tc} \quad (7.38)$$



## 7.7 Návrh strojů

Výroba součásti bude probíhat v již zavedené lisovně strojírenského podniku. Dílna disponuje tabulovými nůžkami NHM 3006T pro maximální tloušťku plechu 6 mm. Pro vystřihování přístřihů je podle výpočtu střížné síly určen lis LEN 63C. Dle velikosti tažné síly a vzhledem ke konstrukci tažného nástroje byl pro tažnou operaci vybrán lis LEN 40C.

## 7.8 Technologický postup

TECHNOLOGICKÝ POSTUP			
OP.	NÁZEV	POPIS OPERACE	STROJ
10	STŘÍHÁNÍ	Stříhat tabuli plechu 1000x2000 tl.2 na pásy 209x2000	Tabulové nůžky NHM 3006T
20	VYSTŘIHOVÁNÍ	Založit pás do nástroje, vložit načínací doraz, děrovat otvor $\varnothing 17$ ; vyjmout načínací doraz, posunout pás na pevný doraz, vystřihnout přístřih	Výstředníkový lis LEN 63C
30	TAŽENÍ	Táhnout tvar komplet	Výstředníkový lis LEN 40C

Tab.5 Technologický postup

## 8 Ekonomické hodnocení

V cenové kalkulaci nebudou zahrnuty pořizovací náklady na strojní vybavení, protože výroba součásti je plánována do již strojově vybavené lisovny.

### 8.1 Variabilní náklady

Velikost variabilních nákladů se mění s objemem výroby. Tyto náklady lze přepočítat na výrobní jednotici.

#### Náklady na materiál

Počet výrobků z jedné tabule plechu je 36 ks.

Roční výrobní série je 15 000 ks.

Počet tabulí

$$P_{\text{tab.}} = \frac{15000}{36} = 416,7 \approx 417 \text{ celých tabulí} \quad (8.1)$$

Cena 1 tabule plechu

$$C_M = 838 \text{ Kč} \quad (8.2)$$

Celková cena materiálu

$$N_{\text{mat.}} = P_{\text{tab.}} \cdot C_m = 417 \cdot 838 = 349\,446 \text{ Kč} \quad (8.3)$$

Měsíční výrobní dávka

$$Q_m = \frac{Q}{12} = \frac{15000}{12} = 1250 \text{ ks} \quad (8.4)$$

Výrobní čas

Výrobní čas jednoho kusu:  $t_{A1}=0,5 \text{ min} \cdot \text{ks}^{-1}$

Celkový strojní čas

$$t_A = \frac{t_{A1}}{60} \cdot Q = \frac{t_{A1}}{60} \cdot 15000 = 125 \text{ Nh} \quad (8.5)$$

Mzdové náklady

Hodinová mzda:  $M_h = 110 \text{ Kč}$

$$N_{mzdy} = t_A \cdot M_h = 125 \cdot 110 = 13\,750 \text{ Kč} \quad (8.6)$$

Náklady na elektrickou energii

Cena elektřiny:  $C_e=3,85 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$

Příkon elektromotoru lisu:  $P = 4 \text{ kW}$

Cena elektrické energie

$$N_e = P \cdot t_A \cdot C_e = 4 \cdot 125 \cdot 3,85 = 1925 \text{ Kč} \quad (8.7)$$

Celkové variabilní náklady

$$N_v = N_{mat} + N_{mzdy} + N_e = 349446 + 13750 + 1925 = 365\,121 \text{ Kč} \quad (8.8)$$

Variabilní náklady jednoho výrobku

$$C_v = \frac{N_v}{Q} = \frac{365121}{15000} = 24,3 \text{ Kč} \quad (8.9)$$

## 8.2 Fixní náklady

Hodnota fixních nákladů se vzhledem k výrobní sérii nemění.

Náklady na výrobní a správní režii

Výrobní režie: 75%

Správní režie: 60%

$$N_R = N_C \cdot \frac{(R_v + R_s)}{100} = 365121 \cdot \frac{(75 + 60)}{100} = 492\,913 \text{ Kč} \quad (8.10)$$

Náklady na nástroje

Cena střižného nástroje: 13 000 Kč.

Cena tažného nástroje: 25 000 Kč.

Celková cena nástrojů

$$N_{nástř.} = 13000 + 25000 = 38000 \text{ Kč} \quad (8.11)$$

Fixní náklady celkem

$$N_F = N_R + N_{\text{nástr}} = 492913 + 38000 = 530\,913 \text{ Kč} \quad (8.12)$$

### 8.3 Celkové náklady

$$N_C = N_V + N_F = 365121 + 492913 = 858\,034 \text{ Kč} \quad (8.13)$$

Výrobní zisk 20%

$$Z_V = N_C \cdot \frac{20}{100} = 171\,607 \text{ Kč} \quad (8.14)$$

Cena jednoho výrobku se ziskem 20%

$$C_Z = \frac{N_C + Z_V}{Q} = \frac{858034 + 171607}{15000} = 68,6 \text{ Kč} \quad (8.15)$$

Bod zvratu

$$BZ = \frac{N_F}{C_Z - C_V} = \frac{530913}{68,6 - 24,3} = 11985 \text{ ks} \quad (8.16)$$

Při výrobní sérii větší než odpovídá bodu zvratu začne být výroba zisková.

## 9 Závěr

Výpočtem byl určen průměr přístřihu 200 mm. Polotovar pro tažení se bude vystřihávat střížným nástrojem z pásů plechu nastříhaných tabulovými nůžkami z tabule plechu. Dalšími výpočty byla sice zjištěna nutnost použití přidržovače, ale vzhledem k velmi malé ploše pod přidržovačem je tažný nástroj bez přidržovače. Z kontrolního výpočtu tažné síly, respektive síly na utržení dna, byla vypočtena jmenovitá síla lisu a také byl navržen lis. Průměr rondelu a možnost tažení na jednu operaci jsou výchozí kritéria pro konstrukční řešení tažného nástroje. V ekonomickém hodnocení jsou uvedeny fixní a variabilní náklady a cena jednoho výtažku. Bod zvratu je s přihlédnutím k roční výrobní dávce relativně vysoký, proto by bylo vhodné navýšení objemu výroby. Výkresová dokumentace tažného nástroje- viz příloha č. 5.

## Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Název	Jednotky
A	tažnost	[%]
$a_{Rp0,2}$	anizotropie smluvní meze kluzu	
b	výchozí šířka zkušební tyče	[mm]
BZ	bod zvratu	[ks]
$b_{20}$	šířka zkušební tyče po 20% plastické deformaci v tahu	[mm]
$C_e$	cena elektrické energie	[Kč·kWh <sup>-1</sup> ]
$C_M$	cena materiálu	[Kč]
$C_V$	variabilní cena jednoho výrobku	[Kč]
$C_Z$	cena jednoho výrobku se ziskem	[Kč]
d	průměr výtažku	[mm]
Q	počet kusů ve výrobní dávce	[Kč]
$D_0$	průměr rondelu	[mm]
DÚ	dolní úvrať výstředníkového lisu	
E	přepážka mezi výstřižky	[mm]
F	okraje odpadu výstřižků	[mm]
$F_T$	tažná síla	[N]
$F_P$	síla přidržovače	[N]
h	výška výtažku	[mm]
HÚ	horní úvrať výstředníkového lisu	
K	délka kroku	[mm]
$N_{mat}$	náklady na materiál	[Kč]
$N_{mzdy}$	náklady na mzdy	[Kč]
m	koeficient tažení	[-]
$m_{mez}$	mezní koeficient tažení	[-]
Mh	hodinová mzda	[Kč]
n	počet kusů	[ks]
Nh	normohodina	
$N_F$	fixní náklady	[Kč]
$N_V$	variabilní náklady	[Kč]
$N_C$	celkové náklady	[Kč]
$P_{pásů}$	počet pásů	[ks]
$P_{výstř}$	počet výstřižků	[ks]
Q	počet kusů ve výrobní dávce	[ks]
$Q_m$	počet kusů v měsíční dávce	[ks]
$r_s$	střední hodnota součinitele plastické anizotropie	[-]
$r_0$	anizotropie ve směru 0° ke směru válcování plechu	[-]
$r_{45}$	anizotropie ve směru 45° ke směru válcování plechu	[-]
$r_{90}$	anizotropie ve směru 90° ke směru válcování plechu	[-]
Re	mez kluzu	[MPa]
$Re_L$	dolní mez kluzu	[MPa]
Rm	mez pevnosti	[MPa]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu	[MPa]
$R_{tc}$	poloměr zaoblení hrany tažnice	[mm]
$R_{tk}$	poloměr zaoblení hrany tažníku	[mm]
$R_T$	vzdálenost těžiště plochy od osy rotace	[mm]
s	tloušťka materiálu	[mm]
$s_{20}$	tloušťka zkušební tyče po 20% plastické deformaci v tahu	[mm]

$S$	plocha	$[\text{mm}^2]$
$S_{\text{tabule}}$	plocha tabule plechu	$[\text{mm}^2]$
$S_{\text{všech}}$	plocha všech výstřižků	$[\text{mm}^2]$
$S_{\text{výstř.}}$	plocha jednoho výstřižku	$[\text{mm}^2]$
$\dot{S}$	šířka pásu	$[\text{mm}]$
$T_{\text{MA}t}$	teplota materiálu při tváření	$[\text{°C}]$
$T_{\text{REK}}$	rekrytalizační teplota daného kovu	$[\text{°C}]$
$T_{\text{TAV}}$	teplota tavení	$[\text{°C}]$
$t$	celkový výrobní čas	$[\text{h}]$
$t_A$	výrobní čas	$[\text{min}]$
$t_{A1}$	výrobní čas jednoho kusu	$[\text{min}]$
$t_B$	přípravný čas	$[\text{min}]$
$s$	tloušťka plechu	$[\text{mm}]$
$u$	součinitel podmínky pro použití přidržovače	$[-]$
$V$	objem	$[\text{mm}^3]$
$v$	tažná mezera	$[\text{mm}]$
$z$	materiálová konstanta	$[-]$
$Z$	kontrakce	$[\%]$
$\alpha$	úhel v rovině plechu vzhledem ke směru válcování	$[\text{°}]$
$\varepsilon$	deformace	$[-]$
$\varepsilon_e$	elastická deformace	$[-]$
$\varepsilon_c$	celková deformace	$[-]$
$\varepsilon_p$	plastická deformace	$[-]$
$\varphi_b$	logaritmická deformace ve směru šířky vzorku	$[-]$
$\varphi_s$	logaritmická deformace ve směru tloušťky vzorku	$[-]$
$\sigma$	mechanické napětí	$[\text{MPa}]$

## Použitá literatura

- [1] KŘÍŽ, Rudolf, VÁVRA, Pavel. *Strojírenská příručka*. 1. vyd. Praha: Scientia, 1998. 255 s. ISBN 80-7183-054-2
- [2] KOTOUČ, Jiří, *Tvářecí nástroje*. ČVUT. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1993. 350 s. ISBN 80-01-01003-1
- [3] TIŠNOVSKÝ, M., MÁDLE, L. *Hluboké tažení plechu na lísech*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1990. 196 s. ISBN 80-03-00221-4
- [4] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření : Plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno : PC-DIR Real, s.r.o., 1999. 169 s. ISBN 80-214-1481-2.
- [5] PETRUŽELKA, Jiří. *Plošné tváření*. Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie [online]. 2004 [cit. 2010-02-25]. Plošné tváření. Dostupné z WWW: <<http://www.345.vsb.cz/jiripetruselka/TNMTV/PlosneTvareni.pdf>>.
- [6] FREMUNT, Přemysl, PODRÁBSKÝ, Tomáš. *Konstrukční oceli*. Brno: CERM, 1996. 267 s. ISBN 80-85867-95-8
- [7] NOVOTNÝ, Karel. *Speciální technologie výroby*. Studijní opory. [online]. 2002 [cit. 2010-04-03]. Dostupné z WWW: <[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/specialni\\_techologie\\_vyroby\\_\\_\\_novotny\\_piska.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/specialni_techologie_vyroby___novotny_piska.pdf)>.
- [8] DVOŘÁK, Milan; MAREČKOVÁ, Michaela. *Technologie tváření*. Studijní opory. [online]. 2006 [cit. 2010-04-27]. Dostupné z WWW: <[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/technologie\\_tvareni/kapitola\\_4.htm#4.3.1.2](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/kapitola_4.htm#4.3.1.2)>.
- [9] NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení*. Studijní opory [online]. 2002 [cit. 2010-03-26]. Dostupné z WWW: <[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/vyrobnni\\_stroje\\_a\\_zarizeni\\_novotny.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/vyrobnni_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf)>.
- [10] Guldinova věta In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2010, [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Guldinova\\_v%C4%9Bta](http://cs.wikipedia.org/wiki/Guldinova_v%C4%9Bta)>.
- [11] *Becker Stahl Service* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Za tepla válcované pásy a plechy. Dostupné z WWW: <[http://www.becker-stahl-service.de/range/warmgew\\_blech.php?lang=cz](http://www.becker-stahl-service.de/range/warmgew_blech.php?lang=cz)>.
- [12] FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1	nomogram pro určení můstků mezi výstřižky
Příloha č. 2	katalogový list lisů LEN 40C a LEN 63C a jejich rozměry
Příloha č. 3	katalogový list tabulových nůžek NHM 3006T
Příloha č. 4	výrobní výkres krytu
Příloha č. 5	výkres sestavy tažného nástroje
Příloha č. 6	CD se soubory: 2010_BP_Zika_Lubos_108054.pdf 2010_BP_Zika_Lubos_108054_prilohy.zip